



III-051 – IMPLANTAÇÃO DE UNIDADE DE COMPOSTAGEM EM UMA GRANDE INDÚSTRIA: DO TESTE PILOTO AO DIMENSIONAMENTO

Jonas Age Saide Schwartzman⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus de Sorocaba. Aluno de pós-graduação em Gestão e Controle Ambiental em Serviços de Saúde pela Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP.

Sandro Donnini Mancini

Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Mestre em Engenharia de Materiais pela UFSCar e Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFSCar. Professor da UNESP-Sorocaba.

Tânia de Mattos

Engenheira Ambiental pela UNESP – Campus Experimental de Sorocaba. Aluna de pós-graduação em Engenharia Ambiental pela Faculdade de Engenharia Química da Universidade de Campinas – FEQ/UNICAMP.

Aniella Guazzelli Rosa

Engenheira Ambiental pela UNESP – Campus Experimental de Sorocaba.

Alex Rodrigues Nogueira

Engenheiro Ambiental pela UNESP – Campus Experimental de Sorocaba. Aluno de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP.

Endereço⁽¹⁾: Av. 3 de Março, 511 – Alto da Boa Vista- Sorocaba – SP - CEP: 18087-180 – Brasil – Tel: (15) 3238-3409 – **email:** jonas_unesp@yahoo.com.br

RESUMO

Este trabalho avaliou a viabilidade técnica de implantação de uma usina de compostagem em uma empresa de grande porte. Para isso, foram construídas duas leiras piramidais com cerca de 2m³, em escala piloto, a fim de se comparar o composto final obtido em cada uma delas. As duas leiras apresentavam sistemas de aeração diferentes e foram montadas com os resíduos de jardim da empresa misturados às sobras e restos de alimentos provenientes de seu restaurante (cerca de 2.500kg de resíduos por leira). Com a geração aproximada de 900 kg/dia de resíduos orgânicos (podas do jardim + sobras do restaurante), evitar a destinação desse material aos aterros sanitários pelo processo de compostagem, pode trazer grandes benefícios financeiros e ambientais à empresa.

Além do estudo de viabilidade da implantação das leiras para a compostagem, foram realizados ensaios físicos e químicos no composto final para comprovar a funcionalidade da técnica e a qualidade final do composto. Verificou-se, no composto final produzido, grande possibilidade de uso como condicionador de solo, dada a baixa concentração de metais pesados, bem como o teor razoável de alguns macronutrientes. Por exemplo, obteve-se, entre outros parâmetros, relação de carbono/nitrogênio máxima de 15/1, considerada boa para adubos orgânicos. Foi ainda elaborado um projeto de uma usina de compostagem para funcionar em fluxo contínuo dentro da área da empresa, levando em conta aspectos como geração dos resíduos orgânicos da empresa, equipamentos e estrutura necessária, tratamento do chorume na ETE da empresa, etc. Nesta usina, com 900m² cobertos, seria possível a montagem de 42 leiras.

PALAVRAS-CHAVE: Compostagem, Resíduo Orgânico, Usina de Compostagem, Condicionador de Solo.

INTRODUÇÃO

As boas práticas ambientais têm se mostrado crescentes em diversos ramos de atividades. Tal fato está associado a um consumidor mais criterioso e consciente, e principalmente à pressão do mercado, o qual entende hoje, que a implantação de um Sistema de Gestão Ambiental pode trazer redução de custos, melhoria da imagem e maior competitividade no mercado.

Quando o assunto é resíduo sólido, uma das maiores dificuldades encontradas pelas empresas é a questão da minimização, principalmente para resíduos orgânicos. O problema é ainda mais grave em grandes empresas,



nas quais os resíduos do restaurante são representativos, e normalmente se somam aos dos serviços de jardinagem que também podem existir.

Uma das soluções para tratar essa matéria orgânica é a compostagem aeróbia. Esta técnica consiste em um processo controlado de decomposição microbiana, baseado na oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido, que resultará em dois componentes: matéria inorgânica (inclusive sais minerais, que carregam nutrientes para as plantas) e o húmus, responsável por melhorar as propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo [1-3].

Trata-se de uma atividade praticada (mesmo que inconscientemente) há muitos séculos, e que recebeu maior atenção após a intensificação de práticas agrícolas, momento que a busca por maiores produtividades fez com que o balanço de nutrientes no solo, e sua disponibilidade para as plantas fossem considerados. Mais recentemente, outros grandes avanços foram possíveis após a descoberta do papel dos microrganismos na transformação de compostos de origem orgânica presentes no solo, permitindo intervenções com o objetivo de aumentar a eficiência do processo [2,4].

No entanto, em casos onde não há um controle sobre o processo de compostagem, pode haver um predomínio dos processos fermentativos, e por consequência, uma geração de subprodutos indesejáveis que acabam inviabilizando a aplicação do composto final na agricultura [2]. Sendo assim, mais importante do que simplesmente favorecer a biodegradação da matéria orgânica é ter um controle sobre o desenvolvimento do processo, de modo que se possa produzir ao final, um composto com o máximo de compatibilidade para o uso agrícola.

Neste sentido, o conceito de condicionador de solo é definido como: *“produto que promove a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou atividade biológica do solo, podendo recuperar solos degradados ou desequilibrados nutricionalmente”* pelo Capítulo I da Instrução Normativa da Secretaria de Desenvolvimento Agropecuária (SDA) nº. 35 de 4 de julho de 2006 (IN 35/2006) [5].

Além disso, em seu capítulo II, seção V, artigo 6º, inciso III, a instrução normativa classifica o condicionador de solo obtido através do processo de compostagem de restos de comida como condicionador de solo Classe C. Ou seja, é o *“produto que em sua fabricação utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura”*. Portanto, dependendo de suas propriedades finais, o composto orgânico obtido pelo processo de compostagem de resíduos alimentícios pode ser considerado um condicionador de solo [5].

A implantação da compostagem dos resíduos orgânicos pode diminuir os gastos de empresas com transporte e aterramento desses resíduos. Além disso, aumentaria o percentual de resíduos reciclados pela empresa, um dos indicadores ambientais mais comuns em sistemas de gestão ambiental certificados. Ainda, pouparia espaço nos aterros sanitários – aumentando sua vida útil – e estimularia o uso de fertilizantes orgânicos. Entretanto, essa técnica ainda é pouco difundida e estudada no meio empresarial.

Para que a reciclagem de resíduos orgânicos seja viável, é necessário comprovar a viabilidade de um investimento inicial. Nesse sentido, um estudo preliminar envolvendo composteiras-piloto pode fornecer, como resultado final, subsídios para o dimensionamento de uma futura unidade de compostagem de acordo com as características encontradas durante sua realização. Outra vantagem deste tipo de estudo é a possibilidade de se apontar pontos para a melhora do processo.

O presente trabalho tem o objetivo de verificar a viabilidade de utilização da compostagem como técnica de tratamento dos resíduos orgânicos de uma grande empresa (a qual apresentou uma geração mensal média de 30 toneladas de resíduos orgânicos no ano de 2008), através de análise de duas técnicas simples e baratas de compostagem, bem como análise química do composto final, elaboração de um projeto de usina de compostagem em fluxo contínuo para implantação na empresa e incentivo à prática de compostagem no ramo industrial.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da empresa em estudo, à época com 4.500 funcionários, que financiou os ensaios de laboratório, bem como disponibilizou funcionários para auxiliar nos processos de manipulação do material orgânico durante o processo de compostagem.



MATERIAIS E MÉTODOS

Com autorização da agência ambiental do estado, foram constituídas duas leiras que continham aproximadamente 2.500 kg de resíduos cada (compostas por cerca de 60% de restos e sobras de comida e 40% de podas de jardim), e que foram submetidas ao processo de decomposição natural.

Em cada uma das leiras foi empregada uma técnica diferente (ambas com baixo custo de implantação, com pouca manutenção e ausência de máquinas), de acordo com a infraestrutura disponível na empresa. Dessa forma, as leiras foram montadas em forma piramidal, com cerca de 2m³ cada, com o diferencial de estarem apoiadas em duas camadas de *pallets* de madeira, conforme apresentado nas Figuras 1 e 2.

Periodicamente, foi realizado monitoramento de parâmetros como a temperatura, o pH e a umidade das leiras, para o acompanhamento comparativo com o comportamento estimado para a evolução do processo na literatura [1-3].

Os *pallets* colocados têm a função de facilitar a entrada de ar pela parte inferior da leira, visto que pelo seu formato piramidal, grande parte de seu volume está concentrado na base. Além disso, uma característica interessante da utilização do *pallet* como base para a leira em usinas de compostagem é que se evita o contato direto com o solo. Obviamente, isso faz com que o solo acabe não contribuindo com o processo, fato comum em unidades comerciais de compostagem, nas quais, geralmente, o solo é cimentado.

Os *pallets* possuem dimensões de 0,80m X 1,20m, e foram utilizadas 2 camadas com 6 *pallets* cada, totalizando dimensões de 2,4m X 2,4m e área superficial de 5,76 m². O método utilizado pode ser visto na Figura 1 abaixo.



Figura 1: Estrutura de *pallets* utilizada como base para as leiras de compostagem.

Na LEIRA 1, foi realizada a técnica de revolvimento, preconizada para submeter todo o material presente na leira a condições semelhantes, de modo a obter um composto mais homogêneo. A Figura 2, abaixo, mostra a LEIRA 1 durante o processo de compostagem.



Figura 2: LEIRA 1 durante o processo de compostagem.

A técnica utilizada para a LEIRA 2 foi semelhante à aplicada na LEIRA 1, com o diferencial que a de número 2 continha um sistema de tubulação de PVC de 100 mm de diâmetro com pequenos furos. A maior parte desse sistema ficou dentro da leira, com o objetivo de facilitar a oxigenação e reduzir a manutenção do processo, devido à decisão de não utilização do revolvimento. A Figura 3 ilustra o sistema de PVC utilizado para o processo de compostagem na LEIRA 2.



Figura 3: Sistema de tubos de PVC utilizado na LEIRA 2, visando a uma maior oxigenação.

A LEIRA 2 já finalmente preparada para iniciar o processo de compostagem, bem como com o sistema de tubos de PVC instalado e base de *pallets* de madeira pode ser vista na Figura 4, abaixo.



Figura 4: LEIRA 2 montada no início do processo de compostagem.

Após cerca de 120 dias, o processo de compostagem foi dado como terminado. Tal decisão foi tomada a partir dos resultados dos parâmetros monitorados ao longo do tempo (temperatura, pH e umidade). Amostras representativas (obtidas por quarteamento) de cada leira foram submetidas a ensaios em triplicata no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) para determinação de parâmetros importantes para avaliar a qualidade de um condicionador de solo. No caso, foram determinados os teores de carbono orgânico, macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio), metais pesados (arsênio, cádmio, chumbo, cromo, mercúrio, níquel e selênio) e a relação Carbono/Nitrogênio.

Além dos resultados técnicos dos compostos obtidos, bem como de suas eventuais aplicações, também foi dimensionada uma unidade de compostagem para atender à empresa, que teria capacidade para a compostagem de todo o resíduo orgânico gerado pela indústria (ou seja, em torno de 30 toneladas mensais). Esse dimensionamento levou em conta fatores como: massa de resíduos orgânicos gerados pela empresa, massa de resíduos por leira, densidade do resíduo, tempo médio do processo de compostagem.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta a média das quantidades de metais pesados encontradas nos ensaios em triplicata realizados com os materiais obtidos após o processo de compostagem natural de cada uma das leiras. São também apresentados os e os limites de metais pesados admitidos para condicionadores de solo (em mg de metal pesado/kg de composto), regulamentados pela Instrução Normativa 27/2006 da Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [6].

Tabela 1: Comparação entre a ocorrência de metais pesados nos compostos orgânicos das duas leiras e os limites máximos permitidos pela IN 27/2006.

Parâmetro	Unidade	Limite máximo (IN 27/2006)	Média LEIRA 1	Média LEIRA 2
Arsênio	mg/kg	20,00	<0,50	<0,50
Cádmio		8,00	<0,50	<0,50
Chumbo		300,00	5,80	2,50
Cromo		500,00	17,30	5,40
Mercúrio		2,50	<0,50	<0,50
Níquel		175,00	1,40	1,50
Selênio		80,00	<0,50	<0,50



Observa-se pela Tabela 1 que, de maneira geral, as quantidades médias dos metais pesados presentes nas duas leiras estão muito abaixo dos limites máximos estabelecidos pela Instrução Normativa 27/2006 [6]. Como a matéria prima para a produção do composto orgânico consiste em restos de comida de restaurante e restos vegetais de poda de jardim, o resultado encontrado está de acordo com o esperado. Ademais, a pouca quantidade de metais pesados presentes no composto indica que não ocorre a mistura dos restos de comida do restaurante da empresa com resíduos perigosos também gerados pela empresa, tais como pilhas, baterias e lâmpadas.

Vale ressaltar que um composto orgânico que possua tais quantidades de metais pesados está apto para ser aplicado em culturas agrícolas sem que haja a contaminação do solo ou mesmo da planta que o receber.

A Tabela 2 apresenta a média dos resultados dos ensaios de determinação do teor de carbono orgânico e de macronutrientes primários encontrados em amostras representativas de cada uma das duas leiras.

Tabela 2: Média dos teores de carbono orgânico e macronutrientes para as leiras.

Parâmetro	Unidade	Média LEIRA 1	Média LEIRA 2
Carbono orgânico	g de C/kg	260,7	468,0
Nitrogênio Kjeldahl (N)	g de N/kg	17,0	39,4
Fósforo (P)	g de P/kg	2,4	4,7
Potássio (K)	g de K/kg	5,4	17,7

A média dos teores de fósforo encontrados nas leiras 1 e 2 foram 0,24% e 0,47%, em massa, respectivamente. Nos dois casos pode-se dizer que tal teor é médio com relação às quantidades encontradas desse elemento em adubos orgânicos.

Com relação ao carbono orgânico, os resultados indicam que, caso seja feita a adição sucessiva desse material ao solo, deverão ocorrer alterações significativas e positivas na capacidade de suporte de atividades agrícolas do mesmo. Sobre os valores de nitrogênio encontrados, pode-se dizer que o composto da leira 1 se assemelha ao obtido no esterco de curral e o da LEIRA 2 se assemelha ao produto obtido no esterco de galinha.

Em relação à análise do potássio, verifica-se uma discrepância entre os valores obtidos na LEIRA 1 e na LEIRA 2. Tal fato também ocorreu entre as três amostras de cada leira analisada. Mas pode-se dizer que, de maneira geral, o composto final apresentou um teor de potássio considerado médio comparado a adubos orgânicos.

A relação C/N média das leiras 1 e 2 foram 15/1 e 12/1, respectivamente, reforçando a hipótese de que os 120 dias foram suficientes para se chegar ao final do processo de compostagem. A primeira relação (15/1) é considerada boa e a segunda (12/1) é considerada ótima tendo como referência adubos orgânicos. Tal fato indica que a aplicação do composto no solo acarretará na mineralização do nitrogênio, tornando-o disponível para as plantas. Entretanto, a liberação desse nutriente não será feita em altos níveis, ou seja, devido às características do composto orgânico, o nitrogênio será liberado paulatinamente, evitando perdas por lixiviação, comuns no uso de adubo inorgânico.

Para o dimensionamento da usina, foram levados em conta os seguintes dados:

- densidade do composto baseado na literatura e em verificação aproximada no próprio resíduo submetido à compostagem [7];
- quantidade de resíduos orgânicos gerados pela empresa;
- tempo médio para compostagem de 120 dias, segundo o método utilizado nas leiras; e
- volume de resíduos a ser colocado em cada leira, levando em conta a área da base de cada leira de 5,76m² e considerando uma altura mínima de 1m.



Dessa forma, foi possível determinar (com um coeficiente de segurança de 20%) que para a implantação de uma usina de compostagem com funcionamento em fluxo contínuo dentro da empresa, devem ser utilizadas 42 leiras. Considerando-se um espaçamento médio de 1,50 metros entre cada leira, tal usina necessitará de uma área em planta de cerca de 900m², compatível com a área disponível para a execução de tal projeto dentro da empresa.

Levando em conta a importância no processo de revolvimento, também se sugere a compra de uma betoneira de 300 litros para otimizar esse processo. Além disso, após o encerramento da compostagem, sugere-se a utilização de uma peneira rotativa para homogeneizar a granulometria do composto final.

O terreno deverá ser cimentado (para evitar a infiltração de chorume gerado) e o galpão coberto em toda sua extensão (para diminuir problemas com arraste de partículas com a chuva). Recomenda-se a cobertura com telhas no formato das de fibro-cimento, porém feitas com resíduos da fabricação de embalagens longa-vida (tetra-pak). Essas telhas podem ser furadas (e posteriormente vedadas no entorno) para permitir que sejam acopladas garrafas de PET usadas. Com água em cerca de 2/3 de seu volume, essas garrafas permitem a entrada de luz solar e seu espalhamento para o ambiente, o que deve evitar a necessidade de iluminação artificial durante o dia. Um conjunto de células fotovoltaicas comumente comercializadas pode suprir toda a energia ou parte dela, aumentando o caráter sustentável e renovável do empreendimento.

Foi proposto no projeto um sistema de captação de água de chuva para manter a umidade adequada nas leiras. São sugeridas 2 caixas d'água de 10.000 litros cada. As caixas d'água devem ficar elevadas a 3 metros, de modo que a carga hidráulica seja suficiente para que se chegue com mangueira à última leira, o que eventualmente pode ser solucionado com a instalação de um sistema de bombeamento (bomba de ¼ HP). Sugere-se a utilização de água da chuva para umedecimento das leiras ao invés de água tratada, pois não contém cloro, que pode inibir a população de microrganismos presentes no processo de compostagem.

A proposta considera, ainda, a adoção de um sistema de captação e envio do possível chorume gerado nas leiras para a estação de tratamento de efluentes da empresa. A captação se dará por gravidade a partir de uma inclinação do piso em 2%, bem como da instalação de canaletas para o direcionamento do líquido. A usina poderá enviar o chorume por gravidade à Estação de Tratamento de Efluentes da empresa.

CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a matéria orgânica gerada na indústria é compostável utilizando-se processo natural e com o mínimo de intervenção. Para isso, duas leiras piloto de 2m³ cada e 2.500 kg de resíduos foram levantadas por cerca de 60% em massa de restos de comida e 40% em massa de podas de jardim.

Os resultados das análises de metais pesados sugerem a possibilidade de utilização do composto, sem restrições para uso na agricultura e a análise de macronutrientes mostra que o composto final apresenta valores médios a altos, caracterizando o produto com um bom condicionador de solo. Obteve-se, entre outros parâmetros, relações carbono/nitrogênio de 15/1 e 12/1, consideradas boa e ótima, respectivamente, para adubos orgânicos.

A usina de compostagem para funcionar em fluxo contínuo na empresa necessitaria de 42 leiras e uma área estimada de 900 m². Esse investimento certamente seria pago a médio prazo, levando em conta o alto custo com transporte e destinação final desses resíduos da empresa, bem como o baixo custo de manutenção da usina.

Tal investimento traz benefícios para toda a sociedade, visto que diminui os custos da empresa, melhorando seus indicadores ambientais, redução no uso de aterro sanitário, aumentando sua vida útil e geração de um composto orgânico para utilização em parques, praças, hortas e áreas degradadas, podendo ser considerado um projeto dentro do conceito de desenvolvimento sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Valdeluir da Silva Moreira, funcionário da empresa à época da pesquisa.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. KIEHL, E.J. Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto. E.J. Kiehl, Piracicaba, Brasil, 1998.
2. SZTERN, D. e PRAVIA, M.A. Manual para la Elaboracion de Compost: Bases Conceptuales y Procedimientos. Organización Panamericana de Saúde, Montevideu:, Uruguai, 1999.
3. USEPA-United States Environmental Protection Agency. Composting of Yard Trimmings and Municipal Solid Waste. : USEPA, Washington, EUA, 1994.
4. BADDI, G. A.; et al. Characterization of fulvic acids by elemental and spectroscopic (FTIR and ¹³C-NMR) analyses during composting of olive mill wastes plus straw. Bioresource technology, v.93, p. 285-290, 2004,
5. SDA – Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa da Secretaria nº. 35 de 4 de julho de 2006. Aprova as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. Diário Oficial da União de 12/07/2006, seção 1, p.32.
6. SDA – Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa da Secretaria nº. 27 de 5 de junho de 2006. Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados. Diário Oficial da União de 09/06/2006, seção 1, p. 15.
7. WALDEMAR, C.C. A Produção de Composto Orgânico Em Porto Alegre: O Uso Do Picador De Resíduos. XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2000. Anais. Porto Alegre, 2000.